©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Über den Unterschied krystallinischer und anderer anisotroper Structuren.

Von dem c. M. Prof. **V. v. Ebner** in Graz.

In meinen „Untersuchungen über die Ursachen der Anisotropie organisirter Substanzen“[1] habe ich die von Ehrenberg und v. Mohl vertretene Ansicht, dass den organisirten doppelbrechenden Substanzen im Ganzen eine krystallinische Structur zukomme, als eine besondere Hypothese, unterschieden.

Ich betonte damals, dass eine krystallinische Structur nicht genügend characterisirt sei, indem man derselben in verschiedenen Richtungen des Raumes eine verschiedene physikalische Beschaffenheit zuschreibe.

Es scheint mir nun, dass gerade dieser Punkt einer eingehenderen Ausführung bedarf, als ich sie früher gegeben habe, da A. Zimmermann, der sich jüngst speciell mit einschlägigen „molecular-physikalischen Untersuchungen“[2] beschäftigte, die principielle Bedeutung der Unterscheidung krystallinischer und anderer anisotroper Structuren offenbar ebenso ungenügend gewürdiget hat, wie viele seiner Vorgänger.

Zimmermann formulirt seine Ansicht über die Ursache der Anisotropie organisirter Substanzen in folgenden Sätzen:

„Der Annahme, dass die, die Anisotropie bewirkende krystallinische Structur der organischen Substanzen durch Spannungen hervorgerufen wird, stehen theoretische Schwierigkeiten nicht im Wege und es sprechen sogar gewisse Thatsachen für diese Annahme. Es ist jedoch nicht wahrscheinlich, dass diese Spannungen später noch in der Membran vorhanden sind.“

---

[1] Leipzig, 1882.

Berichte der deutschen botanischen Gesellschaft. Berlin, 1883. Separatabdruck.

Diesen Sätzen könnte ich nur zustimmen, wenn das Wort krystallinisch gestrichen und ausdrücklich noch gesagt würde: Es ist aber ganz und gar unerwiesen, ja sogar unwahrscheinlich, dass den organisirten Substanzen allgemein eine krystallinische Structur zukomme. Zunächst hebe ich nochmals hervor, dass nicht jede anisotrope Structur krystallinisch ist und es nur bei einem laxen Sprachgebrauche allenfalls gestattet ist, anisotrop und krystallinisch als gleichbedeutend zu gebrauchen. In einem Falle aber, wo es darauf abgesehen ist, genauere Vorstellungen von einer Molecularstructur zu gewinnen, muss der Begriff krystallinisch so scharf als thunlich wissenschaftlich gefasst werden; das heisst so. dass er dasjenige enthält, was für eine Krystallstructur wesentlich ist.

Ehe wir den unterscheidenden Merkmalen einer Krystallstructur und anderer möglicher anisotroper Structuren näher treten, möchte ich einige Bemerkungen über das Vorkommen von Doppelbrechung — die wichtigste Erscheinung, aus welcher wir in der vorliegenden Frage Anisotropie erschliessen — vorausschicken.

Zunächst ist hervorzuheben, dass die regulären Krystalle zwar anisotrop aber nicht doppelbrechend sind. Daraus geht hervor, dass die Doppelbrechung an sich nicht characteristisch für eine krystallinische Structur ist.

Anderseits ist es bekannt, dass es doppelbrechende Körper gibt, welche entschieden keine krystallinische Structur besitzen; denn es wird Niemand im Ernste behaupten wollen, dass eine gespannte Glas- oder eine einseitig gedrückte zähe Gummimasse etc., indem sie doppelbrechend wird, nun eine krystallinische Structur im strengen Wortsinne annehme. Dies zeigt zunächst, dass Doppelbrechung kein untrügliches Zeichen für das Vorhandensein einer krystallinischen Structur ist und dass anderseits eine solche auch ohne Doppelbrechung möglich ist. Die Mehrzahl der Krystalle aber zeigt eine Doppelbrechung, welche unzweifelhaft eine höhere Bedeutung hat. Die Krystalle des tetragonalen und hexagonalen Systemes sind einaxig doppelbrechend, die Krystalle des rhombischen, monoklinen und triklinen Systemes sind alle zweiaxig doppelbrechend und die Lage

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

der optischen Axen, respective der Axen des optischen Elasticitätsellipsoides stehen in so inniger Beziehung zu den Symmetrieaxen und Ebenen der betreffenden Krystalle, dass an einem causalen Zusammenhange zwischen krystallinischer Structur und Doppelbrechung nicht gezweifelt werden kann. Wenn daher in einer Substanz Erscheinungen der Doppelbrechung beobachtet werden, welche mit den an solchen Krystallen beobachteten Erscheinungen einige Ähnlichkeit haben, so scheint der Schluss gerechtfertigt, dass diese Substanz eine Structur habe, wie Krystalle, an welchen normale Doppelbrechung vorkommt. Dieser Schluss scheint noch plausibler, wenn man im Zusammenhange mit der Doppelbrechung und in bestimmten Beziehungen zu den optischen Axen andere Kennzeichen der Anisotropie, z. B. Quellungsaxen etc. findet. Die Unzulässigkeit dieses Schlusses zu erweisen, muss nun die Hauptaufgabe dieser Zeilen sein.

Ich glaube dies zunächst am besten an einem concreten Beispiele thun zu sollen.

Man kann, wie Bertin [1] gezeigt hat, trockene Gelatineplatten herstellen, welche optisch negativ einaxig sind und zwar so, dass die optische Axe senkrecht steht auf der Fläche der Platte, und mit dem Nörremberg'schen Polarisationsmikroskope das characteristische Kreuz und die isochromatischen Ringe gesehen werden können, wie sie senkrecht zur optischen Axe geschliffene Platten von negativ einaxigen Krystallen geben.

Wollte man nun behaupten, die Gelatineplatte habe eine krystallinische Structur, so müsste man bestimmen können, welchem Krystallsysteme sie angehört. Denn irgend einem Krystallsysteme müsste sie angehören, wenn sie überhaupt krystallinisch ist, da durch v. Lang [2] auf inductivem Wege erwiesen ist, dass ausser den sechs bekannten Krystallsystemen keine anderen möglich sind. [3] Vermöge der optischen Erscheinungen könnte die Platte dem tetragonalen oder dem hexagonalen

---

[1] Annales de chimie et de physique, V. Ser., T. XV, p. 129.

[2] Lehrbuch der Krystallographie. Wien, 1866.

[3] Auf die von Bravais, Sohncke u. A. gegebenen deductiven Beweise dieses Satzes kann hier weniger Gewicht gelegt werden, da diese auf einer Hypothese über die Molecularstructur der Krystalle beruhen.

Systeme angehören. Da gesetzmässige Krystallflächen fehlen, von einer regelmässigen Spaltbarkeit, etwa nach Prismen-, Pyramiden-, Rhomboëderflächen etc. keine Rede ist, so liegt zunächst gar kein Grund vor, Symmetrieverhältnisse anzunehmen, welche einem der genannten Krystallsysteme entsprächen. Vielleicht könnten noch feinere physikalische Untersuchungen herangezogen werden, um Eigenthümlichkeiten krystallinischer Structuren an der Gelatineplatte zu entdecken; allein davon ist nichts bekannt und es ist a priori unwahrscheinlich, dass man auf diesem Wege constante ungleichwerthige Richtungen in einer der Platte parallelen Ebene entdecken würde. Lässt sich nun eine nicht krystallinische Molecularstructur denken, welche uns die optischen Erscheinungen ungezwungen erklärt? Dies glaube ich entschieden bejahen zu müssen. Es genügt, sich vorzustellen, dass die Molecularanordnung in der Richtung der Normalen der Platte eine andere ist, als in den verschiedenen Richtungen einer der Platte parallelen Ebene. Es ist ferner ganz natürlich, anzunehmen, dass die verschiedenen Richtungen einer der Platte parallelen Ebene unter sich alle gleichwerthig sind. In die Sprache der Krystallographie übersetzt, würde dies heissen: Die Gelatineplatte hat eine Hauptsymmetrieebene parallel ihrer Fläche; sie hat ferner unendlich viele, zur Hauptsymmetrieebene normale, unter sich gleichwerthige Symmetrieebenen. Krystalle, welche diesem Symmetriegesetze folgen, sind unmöglich; ich darf daher eine solche Platte nicht als krystallinisch bezeichnen. Dass einer solchen Platte eine Hauptquellungsaxe in der Richtung der optischen Axe zukommt, würde sich durch die angenommene, nicht krystallinische Structur ebenfalls begreifen lassen.

Wir können nun versuchen, in mehr allgemeiner Weise die Symmetrieverhältnisse anisotroper Structuren aufzusuchen, von welchen nichts weiter bekannt ist, als dass ihnen ein optisch einaxiges oder ein optisch zweiaxiges Elasticitätsellipsoid zukommt und allenfalls noch weitere Erscheinungen der Anisotropie, welche jedoch nicht für irgend ein Krystallsystem characteristisch sind.

Unter Anisotropie ist hier zu verstehen: irgend welche physikalische Verschiedenheiten in verschiedenen Richtungen einer homogenen Substanz.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Bei einer solchen theoretischen Erörterung können wir uns vorläufig an die Betrachtung der optischen Elasticitätsflächen halten und uns die Symmetrieverhältnisse der Fläche einer Kugel eines Rotationsellipsoides und eines dreiaxigen Ellipsoides in der Sprache der Krystallographie unter der Voraussetzung aufsuchen, dass alle Radien, welche in einem beliebigen Durchschnitte durch den Mittelpunkt einer solchen Form als gleich lang erscheinen, als gleichwerthige Richtungen — respective als Richtungen, in welchen keine physikalischen Verschiedenheiten bestehen — angesehen werden können. Ehe wir aber an diese Auseinandersetzung gehen, müssen wir uns über einige die Symmetrieverhältnisse betreffende Ausdrücke verständigen, welche sich an die in der Krystallographie gebräuchlichen anlehnen, zum Theile aber neu geschaffen werden müssen, wenn es sich um Symmetrieverhältnisse handelt, welche bei Krystallen unmöglich sind. Die Ausdrücke, die wir nothwendig haben, beziehen sich auf die Symmetrieverhältnisse von Ebenen und von auf diesen normalen Linien, welche wir als Symmetrieaxen oder auch kurzweg als Axen bezeichnen wollen. Zum besseren Verständnisse des Folgenden wird es zunächst zweckdienlich sein, kurz die Symmetrieverhältnisse von Schnittebenen, welche durch einen Krystall gelegt werden können, nach der von v. Lang[1] gegebenen Terminologie anzuführen, wobei zu bemerken ist, dass die entgegengesetzten Richtungen einer geraden Linie im Allgemeinen physikalisch verschieden sind und wo sie gleich sind, als zwei Richtungen betrachtet werden.

Denken wir uns einen beliebigen Punkt einer solchen Schnittebene als Mittelpunkt, von welchem aus nach allen möglichen Richtungen der Ebene gerade Linien gezogen seien, deren Längen uns eine Function der physikalischen Eigenschaften in diesen Richtungen (die krystallographische Werthigkeit der Richtung) ausdrücken sollen, so erhalten wir durch Verbindung aller Endpunkte dieser Linien im Allgemeinen eine geschlossene Curve, welche eine Figur umgrenzt, innerhalb welcher der Mittelpunkt, von welchem aus wir uns die Richtungen der krystallographischen Werthigkeit gezogen denken, gelegen ist.

---

[1] L. c.

Im Allgemeinen ist nun eine solche Figur auf einer beliebigen Schnittebene eines Krystalles so beschaffen, dass sich durch den Mittelpunkt keine Symmetrielinie legen lässt, durch welche die Fläche in zwei Hälften zerfiele, innerhalb welcher jeder beliebigen Richtung der einen Hälfte eine gleichwerthige, gleichgeneigte Richtung der anderen Hälfte entsprechen würde. Solche Schnittebenen kommen in allen Krystallsystemen, im triklinischen aber ausschliesslich vor und heissen daher:

1. Triklinische Ebenen. Die Normale einer solchen Ebene ohne jede Symmetrie der physikalischen Werthigkeitsfigur ist eine triklinische Axe.

Alle anderen auf Krystallschnitten sonst noch möglichen Werthigkeitsfiguren sind so beschaffen, dass sie sich in zwei oder mehrere symmetrische Abtheilungen zerlegen lassen. Die Symmetrie der Werthigkeitsfiguren ist im Allgemeinen von zweifacher Art.

A. Durch den Mittelpunkt der Figur lassen sich 1, 2, 3, 4, oder 6 Symmetrielinien ziehen, welche die Figur in Hälften zerlegen, die sich wie Bild und Spiegelbild verhalten.

B. Die Werthigkeitsfigur lässt sich vom Mittelpunkte aus in 2, 3, 4 oder 6 gleiche Winkelabschnitte theilen, welche congruente Curvenabschnitte einschliessen (die also durch Drehung um eine im Mittelpunkte der Figur errichtete Normale zur Deckung mit einem nächst folgenden Curvenabschnitte gebracht werden können.) Der Nullpunkt der Winkeltheilung kann beliebig gewählt werden.

Es existirt aber bei der Symmetrie *B* keine Symmetrielinie, in Bezug auf welche sich zwei Hälften der Curve, wie Bild und Spiegelbild verhielten. Die Symmetrie *B* findet sich häufig bei hemisymmetrischen Krystallen, die Symmetrie *A* auf den Hauptschnitten holosymmetrischer Krystalle. Werthigkeitscurven von der Symmetrie *A* kommt auch die Symmetrie *B* zu mit einziger Ausnahme der monoklinischen Figuren, welche wohl eine Symmetrielinie haben, sich aber in keiner Weise in congruente Theile zerlegen lassen.

In Bezug auf die Werthigkeitscurven mit Symmetrie unterscheidet man nun:

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

2. Monoklinische Ebenen. Sie haben eine Symmetrielinie, zu deren Seiten je zwei gleichwerthige Richtungen liegen. Die Normale ist eine monoklinische Axe.

3. Rhombische Ebenen. Sie haben zwei auf einander senkrechte, ungleichwerthige Symmetrielinien und je vier gleichwerthige Richtungen. Die Normale ist eine rhombische Axe.

4. Tetragonale Ebenen. Sie haben vier unter Winkeln von 45° sich kreuzende Symmetrielinien. Es sind je acht gleichwerthige Richtungen vorhanden. — Die Normale ist eine tetragonale Axe.

5. Trigonale Ebenen mit drei unter Winkeln von 60° sich schneidenden, gleichwerthigen Symmetrielinien und je sechs gleichwerthigen Richtungen. Die Normale ist eine trigonale Axe.

6. Hexagonale Ebenen mit sechs unter Winkeln von 30° sich schneidenden, gleichwerthigen Symmetrielinien und je 12 gleichwerthigen Richtungen. Die Normale ist eine hexagonale Axe. — Hiezu ist zu bemerken, dass das allgemeine Symmetriegesetz für die Zahl der gleichwerthigen Richtungen in dem speciellen Falle eine Ausnahme erleidet, wenn die untersuchte Richtung in eine Symmetrielinie fällt. Die Zahl der gleichwerthigen Richtungen wird dann auf die Hälfte reducirt.

Für alle gleichwerthigen Richtungen erfolgt ferner eine Reduction auf die Hälfte, wenn es sich um ein hemisymmetrisches Krystallsystem handelt. Ferner geht bei gewissen Hemiedrien die Symmetrie *A* in die Symmetrie *B* über. Damit sind aber die möglichen Symmetrieverhältnisse, welche auf einer natürlichen Krystallfläche oder auf einer beliebigen, durch einen Krystall gelegten Durchschnittsebene vorkommen können, erschöpft. Für die nicht krystallinischen Structuren können aber noch Ebenen von höherer Symmetrie, als es hexagonale Ebenen sind, in Betracht kommen. Von besonderer Wichtigkeit sind:

Kreisebenen. Sie haben unendlich viele Symmetrielinien, nur gleichwerthige Richtungen, die durch die einander gleichen Radien eines Kreises dargestellt werden. Die Normale einer solchen Ebene ist eine Kreisaxe.

Mit diesen aus der physikalischen Krystallographie geschöpften Vorbegriffen können wir nun zunächst folgende Definition einer homogenen, isotropen Molecularstructur aufstellen:

In einem homogenen, isotropen Körper ist jede beliebige Ebene eine Kreisebene (und jede beliebige gerade Linie eine Kreisaxe).

Vergleicht man mit dieser vollkommensten molecularen Symmetrie diejenige einer krystallinischen Substanz ausgestattet mit dem höchsten Grade von Symmetrie, welcher bei einer solchen überhaupt vorkommen kann (reguläres, holotesserales System), so ist diese vergleichsweise gering. Denn durch eine holotesserale Substanz gelegten Ebenen sind im Allgemeinen triklinisch.

Man kann durch eine solche nur drei aufeinander senkrechte tetragonale Ebenen, vier die Winkel dieser Ebenen halbirende trigonale Ebenen und sechs auf den Durchschnittslinien der tetragonalen und trigonalen Ebenen senkrechte rhombische Ebenen und endlich noch Schaaren von monoklinischen Ebenen legen, welche man erhält, wenn man auf alle möglichen Richtungen der tetragonalen und trigonalen Ebenen senkrechte Ebenen legt. Alle übrigen, sonst noch denkbaren Ebenen, und deren gibt es noch unendlich viele, sind aber triklinisch.

Ich hebe dies desshalb hervor, weil bekanntlich reguläre Krystalle nicht doppelbrechend sind und ihnen daher eine kugelförmige Lichtwelle zukommt, obwohl sie in hohem Grade anisotrop sind. Daraus lässt sich schon nach Analogie vermuthen, dass die Formen der Lichtwellen, wie sie den doppelbrechenden Krystallen zukommen, nicht nothwendig an krystallinische Structuren gebunden sind, sondern wohl auch bei anisotropen Structuren höherer Symmetrieen, als sie bei Krystallen vorkommen, möglich sind.

Wenden wir uns nun zu einer homogenen anisotropen Substanz, deren Molecularstructur durch die Symmetrieverhältnisse eines Rotationsellipsoides ausgedrückt sei, in welchem die physikalische Werthigkeit der Richtungen durch die Längen der vom Mittelpunkte des Ellipsoides zur Oberfläche gezogenen Radien gegeben ist. Eine solche Structur ist mit Rücksicht auf die analytische Herleitung der Gesetze der Doppelbrechung wohl geeignet, dieselben optischen Erscheinungen, wie ein einaxig doppelbrechender Krystall hervorzurufen. Einer solchen Structur kommt eine Kreissymmetrieebene zu, ferner unendlich viele gleichwerthige rhombische Symmetrieebenen erster Art, welche senk-

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

recht auf der Kreisebene stehen,[1] ferner unendlich viele rhombische Ebenen zweiter Art, welche man sich vorstellen kann, wenn man jede rhombische Ebene erster Art um ihre Durchschnittslinie mit der Kreisebene dreht, bis sie endlich in die Lage der Kreisebene übergeht. Von diesen rhombischen Ebenen zweiter Art sind alle zur Kreisebene gleich geneigten unter sich gleichwerthig, alle ungleich geneigten ungleichwerthig. Damit sind aber alle möglichen Ebenen, welche durch eine solche Structur gelegt werden können, erschöpft. Alle in einer solchen Structur möglichen Richtungen sind rhombische Axen mit Ausnahme der einzigen Kreisaxe, welche auf der Kreisebene senkrecht steht. Dass eine solche hypothetische anisotrope Structur eine weit höhere Symmetrie hat, als irgend ein optisch einaxiger Krystall, liegt auf der Hand. Ich hebe nun hervor, dass den hexagonalen und tetragonalen Krystallen keine Axe höherer Symmetrie zukommt, als die Namen der Systeme ausdrücken und dass in beiden unendlich viele Richtungen vorkommen, welche den Character triklinischer Axen haben.

Analysiren wir nun noch in analoger Weise ein dreiaxiges Ellipsoid, wie es als Elasticitätsellipsoid einer optisch zweiaxigen Substanz angenommen wird, so kommen wir auf eine nicht krystallinische Structur, welche im Allgemeinen wohl geeignet ist, gleich einem optisch zweiaxigen Krystall Doppelbrechung hervorzurufen.

Eine solche Structur hat drei unter Winkeln von 90° sich schneidende, ungleichwerthige rhombische Ebenen erster Art, ferner unendlich viele rhombische Ebenen zweiter Art, welche man sich vorstellen kann, indem man eine rhombische Ebene erster Art um je ihre Durchschnittslinien mit den beiden anderen dreht. Diese sind paarweise gleich geneigt zu einer rhombischen Symmetrieebene erster Art und dann gleichwerthig; im Übrigen

---

[1] Diese Ebenen sind sämmtlich gleiche Ellipsen. Eine Ellipse, deren Radien die krystallographische Werthigkeit ausdrücken, erfüllt die Bedingungen einer Ebene von rhombischer Symmetrie. Trotzdem dürften wir, strenge genommen, eine solche Symmetrieebene einer nicht krystallinischen Substanz nicht mit einer in einem Krystalle möglichen rhombischen Ebene identificiren. Doch können wir in den folgenden Betrachtungen von diesen Unterschieden absehen.

aber ungleichwerthig. Unter diesen Symmetrieebenen erreicht ein Paar, wenn die Drehung um die mittlere Hauptaxe erfolgt, Kreissymmetrie. (Kreisschnitt des Elasticitätsellipsoides.) Endlich gibt es noch ein System von unendlich vielen rhombischen Symmetrieebenen, welche man sich vorstellen kann, wenn man die Ebenen zweiter Art um ihre Durchschnittlinien mit den Ebenen erster Art dreht.

Keine Richtung, welche man sich in einer solchen Structur denken kann, hat eine geringere Symmetrie, als einer rhombischen Axe zukommt; zwei Richtungen sind aber Kreisaxen. Optisch zweiaxige Krystalle von derartiger Symmetrie sind selbstverständlich unmöglich; keiner derselben hat eine Durchschnittsebene oder Axe von höherer, als rhombischer Symmetrie.

Es liessen sich nun ohne Zweifel noch zahllose anisotrope, nicht krystallinische Structuren anderer Art denken, als die hier analysirten; ich halte aber das Gesagte für genügend, um zu zeigen, dass anisotrop und krystallinisch keineswegs identische Begriffe sind und fasse dasselbe kurz folgendermassen zusammen:

1. In homogenen, krystallinischen, doppelbrechenden, optisch ein- und zweiaxigen Structuren ist stets eine unbegrenzte Zahl von Richtungen vorhanden, welchen der Character triklinischer Axen zukommt. Von Richtungen höherer Symmetrie können nur monoklinische Axen in unbeschränkter Zahl, Richtungen vom Character rhombischer Axen nur in sehr beschränkter Zahl, trigonale, tetragonale und hexagonale Axen nur in der Einzahl, Axen noch höherer Symmetrie aber gar nicht vorkommen.

2. Homogene, anisotrope, nicht krystallinische Structuren, welche optisch ein- oder zweiaxig doppelbrechend sind, können Kreissymmetrieaxen besitzen und so beschaffen sein, dass keiner denkbaren Richtung in denselben eine geringere Symmetrie, als die einer rhombischen Axe zukommt.

Sehen wir nun nach, wie weit uns die über die Anisotropie organisirter Substanzen bekannten Thatsachen zu dem Schlusse berechtigen, dass in denselben Symmetrieverhältnisse, wie in

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

den Krystallen, vorhanden seien. Was zunächst die Doppelbrechung anbelangt, so ist die Kenntniss derselben eine sehr mangelhafte. Die organisirten Substanzen sind gewöhnlich nur auf mikroskopisch kleine Strecken als homogen anzusehen; meist wechseln innerhalb kleiner Bezirke die Richtungen der Axen des Polarisationsellipsoides.

Man ist daher auf die Beobachtungen mit parallelem, polarisirtem Lichte angewiesen und kann im Allgemeinen nur die Richtungen und relativen Längen der Axen des Polarisationsellipsoides bestimmen; von genaueren Bestimmungen der Brechungsquotienten, der Dispersion, von Beobachtung der Axenbilder etc. ist keine Rede. Von anderen Erscheinungen der Anisotropie kennen wir Quellungsaxen, welche mit Axen des Polarisationsellipsoides zusammenfallen. Die Cohäsionserscheinungen deuten ebenfalls auf Anisotropie und stehen zum Theil mit den Erscheinungen der Doppelbrechung in Beziehung. Doch ist eine Spaltbarkeit, welche derjenigen von Krystallen analog wäre, durchaus nicht nachzuweisen; wo eine Spaltbarkeit vorhanden ist, hängt sie in der Regel zweifellos mit einer sichtbaren histologischen Structur (Schichtung, Faserung etc.) zusammen. Dies Alles und das Wenige, was wir sonst noch von Erscheinungen der Anisotropie wissen, genügt aber durchaus nicht, um die Symmetrieeigenthümlichkeiten irgend eines Krystallsystems auch nur einigermassen zu erkennen.

Es gibt aber andere und, wie mir scheint, schwer ins Gewicht fallende Thatsachen, welche gegen die krystallinische Structur organisirter Substanzen sprechen.

Krystalle bestehen — wenn wir von der Isomorphie und davon absehen, dass namentlich grössere Individuen oft erhebliche Mengen von Verunreinigungen in sich aufnehmen können — aus wohl definirbaren, stöchiometrisch constant zusammengesetzten, chemischen Verbindungen.

Ist ja doch das Krystallisiren und Umkrystallisiren einer der häufigsten Kunstgriffe zur Reindarstellung einer chemischen Verbindung. — Unzersetzte, organisirte Substanzen lassen sich durch keine Mittel als Krystallindividuen darstellen und der Beweis, dass sie aus einfachen, stöchiometrisch constant zusammengesetzten chemischen Verbindungen bestehen, lässt sich

in der Regel nicht erbringen; für viele aber ist es sicher, dass in ihnen verschiedenartige in der Zusammensetzung wechselnde chemische Verbindungen enthalten sind.

Normal doppelbrechende Krystalle zeigen immer denselben optischen Character, von organisirten Substanzen ist es aber bekannt (Cellulose, cuticularisirte Zellhäute, Hornsubstanz etc.), dass der optische Character je nach Umständen sehr verschieden sein kann. Wir haben, wie jetzt immer mehr anerkannt wird, allen Grund anzunehmen, dass Spannungen die Anisotropie der organisirten Substanzen veranlassen; bei Krystallen dagegen können wir dies nicht annehmen, bei diesen müssen wir vielmehr voraussetzen, dass besondere Eigenschaften der Molecüle die Krystallform und die damit gegebene Anisotropie direct bedingen.

Nur für die anomal doppelbrechenden Krystalle nehmen die Krystallographen an, dass die Anomalie der Doppelbrechung mit der krystallinischen Structur als solcher nichts zu thun habe, sondern ebenfalls auf Spannungsvorgänge während der Bildung des Krystalles zurückzuführen sei. Dies alles sind wohl Gründe genug, um bei molecular-physikalischen Erörterungen die Begriffe anisotrop und krystallinisch auseinander zu halten.

Die Consequenzen, die sich aus den vorhergehenden Erörterungen für die möglichen Ursachen der Anisotropie organisirter Substanzen ergeben, sind nun sehr wichtige.

Wenn zugegeben wird, dass die Anisotropie unter dem Einflusse von Spannungen und in ursächlichem Zusammenhange mit denselben entsteht; so kann man sich viel leichter vorstellen, dass nicht krystallinische Structuren zu Stande kommen, als krystallinische. Es würde beispielsweise genügen, an einen Zug oder Druck in einer bestimmten Richtung zu denken, unter dessen Einfluss eine optisch einaxige, nicht krystallinische Substanz zu Stande kommt. Wenn man sich dagegen vorstellen sollte, dass eine krystallinische Substanz, welche z. B. der rhomboëdrischen Symmetrie entspricht, direct unter dem Einflusse von Spannungen sich bilde, so würde diese einfache Annahme bei weitem nicht genügen; man müsste dann die weitere Bedingung voraussetzen, dass senkrecht auf die Richtung des Hauptzuges oder Druckes in drei unter Winkeln von 120° auseinander liegenden

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Richtungen, andere unter sich genau gleiche Zug- oder Druckkräfte einwirken und überdies noch annehmen, dass die Änderungen dieser Zug- und Druckkräfte nach verschiedenen Richtungen hin genau nach den Symmetriegesetzen des rhomboëdrischen Systems erfolgen würden. Zu solchen Annahmen fehlt aber bei organisirten Substanzen jeder halbwegs plausible Grund.

Für optisch zweiaxige, nicht krystallinische Structuren wird die Annahme genügen, dass in zwei verschiedenen Richtungen ungleiche Spannungen wirken; für zweiaxige krystallinische Structuren müssten wir dagegen wieder viel complicirtere Annahmen machen, wie wohl nicht weiter ausgeführt zu werden braucht.

Dagegen ist ein anderer Zusammenhang zwischen krystallinischer Structur und Spannungen noch denkbar; nämlich der, dass Substanzen, welche vermöge ihrer chemischen Natur sich in Krystallform abscheiden unter dem Einflusse von Spannungen ihre Hauptsymmetrieaxen in bestimmter Richtung orientiren. Als Beispiel dieser Art kann die Thatsache dienen, dass unter dem Einfluss der Spannung einer zusammenhängenden Eisdecke alle eine solche Decke zusammensetzenden Eiskrystalle sich schliesslich mit ihrer optischen Axe senkrecht zur Oberfläche orientiren. Doch wäre eine solche Erklärung bei einer organisirten Substanz nur dann denkbar, wenn dieselbe stets mit demselben optischen Character aufträte und auch dann noch wäre diese Erklärung keineswegs sicher richtig, aber wenigstens möglich.

Alles, was im Vorhergehenden über die Structur der Krystalle vorgebracht wurde, beruht auf Gesetzen, welche ohne irgend eine Hypothese auf dem Wege des Calcüls aus beobachteten Thatsachen abgeleitet sind. Diese Structurgesetze bleiben also wahr, mag man was immer für eine Hypothese über den molecularen Aufbau der Krystalle ersinnen. Es war nicht nothwendig, eine solche Hypothese zu Hilfe zu nehmen, um denkbare Unterschiede zwischen krystallinischen und anderen anisotropen Structuren hervorzuheben. Bei tieferem Eingehen in die Frage würde man allerdings ohne eine moleculare Hypothese nicht wohl auskommen und ohne eine solche wäre wohl die Erörterung der Frage unthunlich, welche Symmetrien bei irgend

welchen Structuren überhaupt möglich sind und ob es homogene Structuren ohne jede Symmetrie geben kann, welche nicht krystallinisch sind. So weit brauchen wir aber vorläufig nicht zu gehen.

Da die Verwechslung der Begriffe amorph, isotrop und einfachbrechend, sowie anderseits krystallinisch, anisotrop und doppelbrechend nun schon wiederholt zu Missverständnissen geführt hat, möchte ich schliesslich noch das Verhältniss dieser Begriffe gegen einander präcisiren.

Halten wir uns an den Gebrauch der Mineralogen und Chemiker, Alles was nicht in Krystallform auftritt, amorph zu nennen, so kann folgende Tabelle möglicher, homogener Structuren die Beziehungen der fraglichen Begriffe darstellen.

A. Amorphe Structuren.

1. Isotrope Structuren.
   - *a)* Vollkommenste Symmetrie. Jeder Schnitt ein gleichwerthiger Kreisschnitt, in welchem jede Linie eine (Spiegel-)Symmetrielinie ist. Jede Richtung eine Kreisaxe. Einfachbrechend.
   - *b)* Hemisymmetrisch, vollkommenste Symmetrie. Jeder Schnitt ein gleichwerthiger Kreisschnitt, jedoch ohne Spiegelsymmetrielinien. Jede Richtung eine Kreisaxe. Circular polarisirend, doppelbrechend ohne Axe, mit zwei Kugelwellen von ungleicher Fortpflanzungsgeschwindigkeit. [1]
2. Amorphe, anisotrope Structuren.
   Structuren, in welchen physikalisch ungleichwerthige Richtungen vorkommen, welche nach solchen Symmetrien geordnet sind, wie sie in Krystallen nicht vorkommen. Ein- oder zweiaxig-doppelbrechend oder einfachbrechend.

---

[1] Hieher wären Structuren mit den Eigenschaften circular polarisirender Flüssigkeiten zu rechnen, welche letztere nach v. Fleischl's Untersuchungen in der angegebenen Weise doppelbrechend sind. (Diese Berichte Bd. XC, October 1884.) Die hemisymmetrische Kreissymmetrie kann man sich allenfalls unter dem Bilde eines Sperrrades mit einer unbegrenzten Anzahl Zähnen vorstellen, welche in Bezug auf den Beschauer entweder stets nach rechts oder stets nach links gerichtet sind.

B. Krystallinische Structuren. (Sämmtlich anisotrop.)

1. Reguläre Structuren.
   a) Einfach brechend.
   b) Circular polarisirend.
2. Hexagonale und tetragonale Structuren.
   a) Einaxig doppelbrechend.
   b) Einaxig doppelbrechend und circular polarisirend.
3. Rhombische, monoklinische und triklinische Structuren.
   Zweiaxig doppelbrechend.